

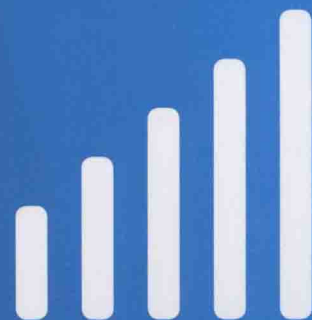


21世纪高职高专系列规划教材



高职高专“十二五”规划教材

通信技术专业



通信原理

TONGXIN YUANLI

主 编◎崔雁松 李志菁

主 审◎董 威



北京师范大学出版集团

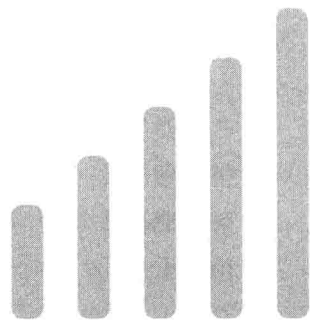
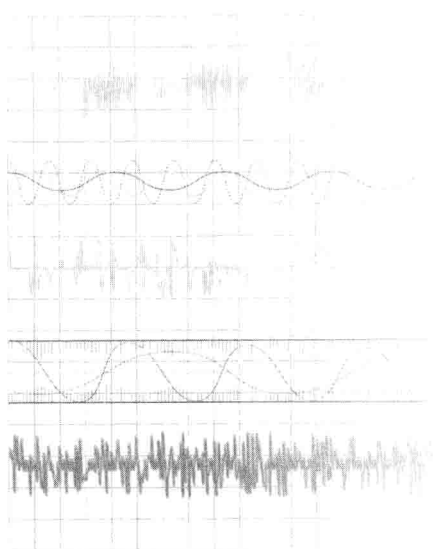
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP

北京师范大学出版社

 21世纪高职高专系列规划教材

通信类专业

 高职高专“十二五”规划教材



通信原理

TONGXIN YUANLI

主 编◎崔雁松 李志菁

参 编◎韩彬彬 冯 慧

钱梁国 任 伟

王竹林 宋 欣

李 娜

主 审◎董 威



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

通信原理/崔雁松,李志菁主编.—北京:北京师范大学出版社,2012.2

(21世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-303-13100-6

I. ①通… II. ①崔… ②李… III. ①通信原理—高等教育—教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第149566号

出版发行:北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街19号

邮政编码:100875

印 刷:北京京师印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:184 mm × 260 mm

印 张:14

字 数:295千字

版 次:2012年2月第1版

印 次:2012年2月第1次印刷

定 价:24.00元

策划编辑:周光明

责任编辑:周光明

美术编辑:高霞

装帧设计:锋尚设计

责任校对:李茵

责任印制:孙文凯

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话:010-58800697

北京读者服务部电话:010-58808104

外埠邮购电话:010-58808083

本书如有印装质量问题,请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话:010-58800825

前 言

《通信原理》是通信类专业学生所必修的一门课程,在整个专业课程中占据着举足轻重的地位和作用,然而高职类教育同本科、研究生教育对该课程的要求是有较大差别的。对于高职高专类学生来讲,只需掌握各种最基本的原理性知识,了解各种技术的性能优劣,熟悉这些原理和技术在实际中的应用即可。凭借多年的教学经验和深入的调研,可以发现:真正适合高职高专类学生学习的这类教材并不多,许多教材都是由本科书籍剪切、拼凑而成的。因此学生普遍反映该课程难度太大,理论性太强,与实际联系不上。本书正是在此背景下,经过9位高职院校的资深教师近一年的反复商讨、修改后编撰而成的。

总的来看,本书具有如下特点。

(1) 丢弃了烦琐的公式推导和晦涩的语言描述,以简洁的语言力求内容通俗易懂。

(2) 文字讲述的同时配有大量的图片、表格和实例,力求学习感受更直观、更明晰。

(3) 充分考虑了学生学习的特点和规律,力求由浅入深、由易至难地讲述问题。

(4) 内容的选择上充分考虑了技术的实用性和先进性,以数字通信为主体,注重介绍实用的新技术。

(5) 每章章前有内容提要,章后有本章小结,结构清晰、组织严密。

(6) 每章都配有大量的习题,书后附有相应的习题解答,便于学生练习和进一步掌握所学知识。

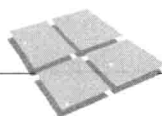
本书第1、第7章由崔雁松编写,第6章由李志菁编写,第2章由韩彬彬编写,第3章由冯慧编写,第4章由钱国梁编写,第5章由任伟编写,第8章由王竹林编写,第9章由宋欣编写,第10章由李娜编写。全书由崔雁松统稿,崔雁松、李志菁担任主编,董威担任主审。

由于时间和水平所限,书中难免存在缺点和不足,希望能够得到全国高职院校同行专家、教师及学生的支持和批评指正,共同研讨本门课程及相关课程高职类教材的编写工作。

编 者
2011年12月

目 录

第 1 章 绪 论	(1)		
1.1 通信系统的基本概念	(1)		
1.2 通信系统模型	(3)		
1.2.1 通信系统的一般模型	(3)		
1.2.2 模拟通信系统模型	(4)		
1.2.3 数字通信系统模型	(4)		
1.3 通信系统的分类与通信方式	(5)		
1.3.1 通信系统的分类	(5)		
1.3.2 通信方式	(8)		
1.4 信息及其度量	(9)		
1.5 通信系统的性能指标 ...	(12)		
1.5.1 模拟通信系统的性能指标	(12)		
1.5.2 数字通信系统的性能指标	(12)		
本章小结	(14)		
第 2 章 信号分析基础和信道	(16)		
2.1 信号分析基础	(16)		
2.2 信道的定义和分类	(21)		
2.3 信道中的噪声	(23)		
2.4 信道容量及香农公式 ...	(25)		
本章小结	(26)		
第 3 章 模拟调制传输系统	(29)		
3.1 调制的基本概念	(29)		
3.2 模拟幅度调制系统及其抗噪声性能	(31)		
3.2.1 标准调幅(AM)	(31)		
3.2.2 抑制载波双边带调幅(SC-DSB)	(33)		
3.2.3 单边带调幅(SSB)	(34)		
3.2.4 残留边带调幅(VSB) ...	(37)		
3.2.5 模拟调幅系统的解调 ...	(38)		
3.2.6 模拟调幅系统的抗噪声性能	(40)		
3.3 模拟角度调制系统及其抗噪声性能	(44)		
3.3.1 模拟角调制的基本概念	(44)		
3.3.2 窄带调频和宽带调频 ...	(47)		
3.3.3 调频信号的产生与解调	(51)		
3.3.4 调频系统的抗噪声性能	(55)		
3.3.5 调频系统的加重技术 ...	(58)		
本章小结	(59)		
第 4 章 模拟信号的数字传输	(62)		
4.1 抽样定理和脉冲幅度调制	(62)		
4.1.1 抽样定理和理想抽样 ...	(62)		
4.1.2 脉冲幅度调制(PAM)	(64)		
4.2 脉冲编码调制(PCM) ...	(65)		
4.2.1 量化	(67)		



4.2.2 编码和译码	(70)	5.6.2 扰码及解扰原理	(104)
4.2.3 PCM 系统的抗噪声性能	(73)	5.7 均衡	(105)
4.3 自适应差分脉冲编码调制 (ADPCM)	(74)	5.8 眼图	(108)
4.3.1 差分脉码调制(DPCM)	(74)	本章小结	(109)
4.3.2 ADPCM	(75)	第 6 章 数字调制传输系统	(111)
4.4 增量调制(ΔM)	(75)	6.1 二进制数字调制	(112)
4.4.1 增量调制的基本原理	(75)	6.1.1 二进制数字幅移键控(2ASK)	(112)
4.4.2 量化噪声和过载噪声	(78)	6.1.2 二进制数字频移键控(2FSK)	(115)
4.4.3 与 PCM 系统的比较	(79)	6.1.3 二进制数字相移键控(2PSK)	(119)
本章小结	(80)	6.2 多进制数字调制	(122)
第 5 章 数字基带传输系统	(83)	6.2.1 多进制数字幅移键控(MASK)	(122)
5.1 数字基带传输系统的常用码型	(83)	6.2.2 多进制数字频移键控(MFSK)	(124)
5.1.1 二条码	(84)	6.2.3 多进制数字相移键控(MPSK)	(126)
5.1.2 三元码	(86)	6.3 数字调制系统性能比较	(129)
5.2 数字基带信号的功率谱	(87)	6.3.1 二进制数字调制系统的性能比较	(129)
5.3 无码间串扰的基带传输	(90)	6.3.2 多进制数字调制系统的性能比较	(130)
5.3.1 数字基带传输系统模型	(90)	本章小结	(130)
5.3.2 基带传输系统的码间串扰	(90)	第 7 章 现代数字调制技术	(133)
5.3.3 无码间串扰的基带传输特性	(91)	7.1 最小频移键控(MSK)	(133)
5.3.4 无码间串扰的理想低通滤波器	(93)	7.2 交错正交相移键控(OQPSK)	(135)
5.3.5 滚降低通滤波器	(94)	7.3 $\pi/4$ 正交相移键控($\pi/4$ -QPSK)	(137)
5.4 部分响应系统	(96)	7.4 正交幅度调制(QAM)	(138)
5.5 基带传输系统的差错率	(100)	本章小结	(140)
5.6 扰码和解扰	(102)		
5.6.1 m 序列	(102)		

第 8 章 差错控制编码	(142)	9.3 多址接入	(170)
8.1 差错控制编码基础	(142)	9.3.1 频分多址接入(FDMA)	(171)
8.1.1 信道误码类型	(142)		(171)
8.1.2 检、纠错编码的基本原理	(143)	9.3.2 时分多址接入(TDMA)	(171)
.....	(143)		(171)
8.1.3 码重、码距和编码效率	(144)	9.3.3 码分多址接入(CDMA)	(173)
.....	(144)		(173)
8.1.4 差错控制方式	(144)	本章小结	(174)
8.2 简单差错控制编码	(145)	第 10 章 同步原理	(176)
8.3 线性分组码	(147)	10.1 载波同步	(176)
8.3.1 监督矩阵 H 和生成矩阵 G	(148)	10.1.1 插入导频法	(176)
.....	(148)	10.1.2 自同步法	(178)
8.3.2 错误图样 E 和校正子 S	(150)	10.2 位同步	(180)
.....	(150)	10.2.1 插入导频法	(180)
8.3.3 线性码的特性及汉明码	(151)	10.2.2 自同步法	(182)
.....	(151)	10.3 帧同步	(184)
8.4 循环码	(152)	10.3.1 起止式同步法	(184)
8.4.1 码多项式及按模运算	(152)	10.3.2 集中插入同步法	(184)
.....	(152)	10.3.3 分散插入同步法	(186)
8.4.2 码的生成多项式和生成矩阵	(154)	10.4 网同步	(187)
.....	(154)	10.4.1 同步复接	(187)
8.4.3 循环码的编码	(154)	10.4.2 异步复接	(188)
8.4.4 循环码的解码	(156)	本章小结	(189)
8.5 卷积码	(158)	部分习题答案	(191)
本章小结	(159)	附录一 常用三角公式	(208)
第 9 章 信道复用和多址接入 ...	(162)	附录二 傅氏变换性质及常用傅氏	
9.1 引 言	(162)	变换对	(209)
9.2 信道复用	(162)	附录三 贝塞尔函数表	(212)
9.2.1 频分复用(FDM)	(163)	附录四 英文缩写名词对照表 ...	(213)
9.2.2 时分复用(TDM)	(165)	参考文献	(216)
9.2.3 码分复用(CDM)	(169)		

第1章 绪论

内容提要

本章是全书内容的基础,为后续章节的学习做铺垫。本章首先提出了通信系统的基本概念,给出了3种常用的通信系统模型,介绍了通信系统的几种分类方法和基本通信方式,然后讲述了通信系统的传输内容——信息的度量方法,最后给出了模拟、数字通信系统衡量性能优劣的主要指标。

通信离人们的生活并不遥远,从古代的消息树、烽火台和驿马传令到现代的书信、电报、电话、广播、电视、遥控、遥测等,通信的发展史也是人类的科技进步史。真正的电通信始于19世纪30年代。1837年,莫尔斯电磁式电报机出现;1866年,利用大西洋海底电缆实现了越洋电报通信;1876年,贝尔发明了电话机,开始了有线电报、电话通信;19世纪末,出现了无线电报;20世纪,电子管、晶体管、集成电路的出现使通信迅速发展;20世纪80年代以来,微波通信、卫星通信、光纤通信、移动通信和计算机通信等各种现代通信系统竞相发展。现在的通信技术正在向数字化、智能化、综合化、宽带化、个人化方向迅速发展。人类不断努力,奔向通信的最终目标——5W(Whenever, Wherever, Whoever, However and Whatever),即无论何时、何地都能实现与任何人进行任何形式的信息交换——全球个人通信。

1.1 通信系统的基本概念

何谓通信?简言之,通信是指将信息有效而可靠地由一地传输到另一地的过程。为了实现通信,必须要有一定的技术、设备和传输介质的支持,所有这些技术、设备和传输介质的总和就构成了通信系统(参照图1-1的公众通信网)。具体来讲,通信和通信系统的概念包括以下几方面含义。

(1)通信的目的是传输信息。这里强调传输的是“信息”,而不是“消息”。“消息”这个词汇在日常生活中,尤其是在人们的口语中应用广泛。然而,在通信术语

中，应该采用的词汇是“信息”。信息是有用的消息，是收信者不确定的、未知的消息。否则，通信就失去了意义。

(2)信息的传输必须是有有效而可靠的。有效性和可靠性是衡量一个通信系统性能优劣的两个最主要的质量指标。有效性是指系统高效率地传输信息；可靠性是指系统不失真地传输信息。

(3)信息的传输在异地之间要经历一段时间，采用某种的具体形式，克服路径中的干扰和距离上的障碍。

在同一地点可以面对面直接交流的情况下研究通信是没有意义的，因此通信一般是在异地之间进行。又由于在异地信息的传输必然要耗时，因此通信中既包含有空间的问题，又包含有时间的问题。通信要传输的信息是抽象的概念，其传输要采取“信号”这种具体的形式，信号是信息的载体。信号在传输过程中要克服距离上的障碍，否则就会产生衰减和失真。衰减是指信号的功率随传播距离增加而减小的现象；失真是指由于受到传输路径中噪声的影响，信号在波形上的变动，噪声是指由系统内部或外部所产生的随机的并对本系统中的有用信号有影响的信号。

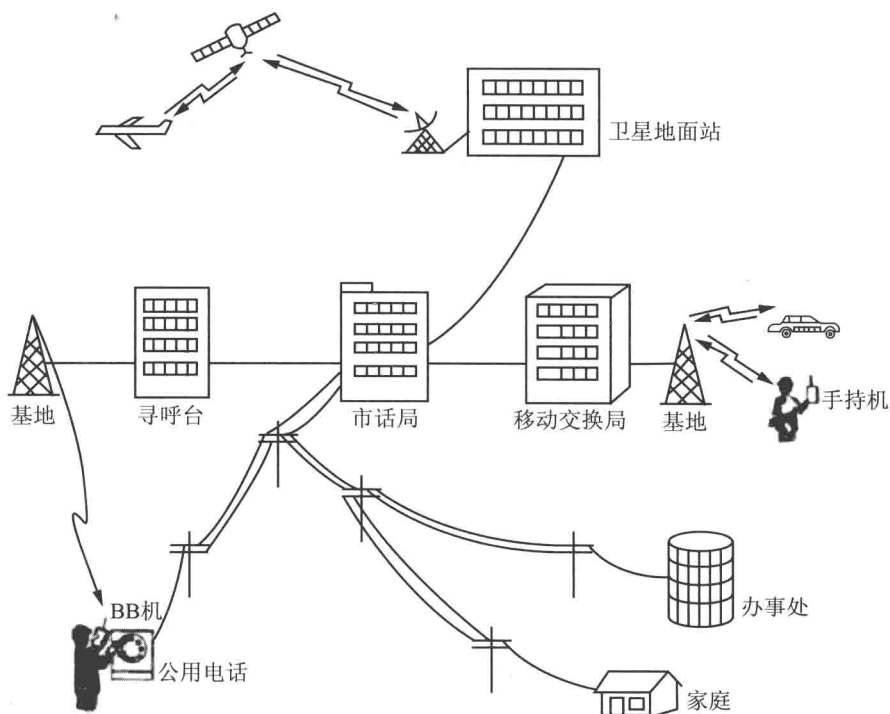


图 1-1 公众通信网

通信系统中的其他基本概念将在后续章节中陆续讲到。

1.2 通信系统模型

1.2.1 通信系统的一般模型

为了了解通信系统的基本组成和结构,下面介绍通信系统的一般模型,如图 1-2 所示。

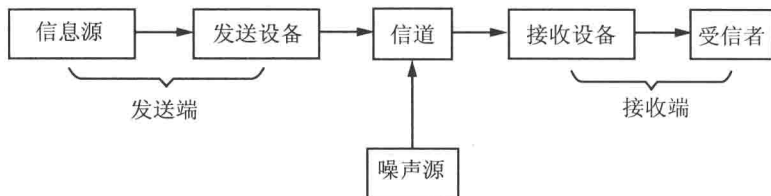


图 1-2 通信系统的一般模型

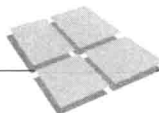
信息源即信息的来源,其作用是把消息转换成原始电信号的形式,如电话机、计算机、电传机等。发送设备的基本功能是将信源产生的原始电信号变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的,如调制、编码、放大、二/四线变换等。信息源和发送设备都处于系统的发送端。

信道即信息传输的通道。信道既可以是有线的,也可以是无线的。有线信道如架空明线、电缆、光缆等,无线信道主要是自由空间。信号在传输过程中,尤其是在信道中要受到各种内、外部噪声的影响。噪声源即噪声的来源,它是整个系统中所有噪声的抽象集中。

信息源与受信者,发送设备与接收设备都是通信系统中的匹配对。因此接收设备的基本功能与发送设备刚好相反,是将从信道中接收到的带有干扰的信号变换成原始信号的形式,以利于受信者的接收。接收设备的变换有解调、译码、滤波等。受信者的作用与信息源相反,是将恢复的原始信号转换成相应的消息形式,如电话机、计算机等既可以是信息源,又可以是受信者。

需要指出,图 1-2 给出的模型只反映了通信系统中一般的、共性的问题,在研究对象更具体以及研究问题的侧重点不同时,应该建立不同的、更具体的通信系统模型,下面两节内容将依次介绍模拟通信系统模型和数字通信系统模型。在具体介绍之前,有必要先了解一下这两类系统的划分情况。

信号按照其参量(如幅度、频率等)取值的不同,可以分为模拟信号和数字信号两种。模拟信号参量的取值是连续的或可以有无穷多个,如语音、图像等。数字信号参量的取值只能是有限多个,如计算机输入/输出信号、电报信号等。模拟通信系统和数字通信系统的划分依据正是信道中传输的信号参量取值特征。如虽然信



息源产生的是模拟信号，但经过发送设备的模/数转换之后经过数字信道传输送到接收端，这样的系统也是数字通信系统。

1.2.2 模拟通信系统模型

模拟通信系统的模型如图 1-3 所示，与图 1-2 相比，发送设备和接收设备变成了调制器和解调器。这只是突出强调了调制和解调在模拟通信系统中的作用，并不是说发送和接收只需要这两种变换就够了。

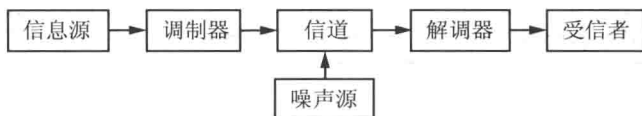


图 1-3 模拟通信系统模型

信息源发出的原始电信号称为基带信号，这是由于这种信号的频谱一般从零频开始并具有很低的频谱分量，并不适宜直接传输，如语音信号频谱范围为 $300 \sim 3400\text{Hz}$ ，图像信号为 $0 \sim 6\text{MHz}$ 。调制器的作用就是频谱搬移，即将原来不适合直接在信道中传输的基带信号转换成适合在信道中传输的形式；解调器完成反变换的作用。经过调制以后的信号称为已调信号，又称为频带信号。频带信号具有 3 个基本特征：一是携带有信息；二是适合在信道中传输；三是信号的频谱具有带通形式且中心频率远离零频。关于调制技术，将在第 3 章和第 6 章中详细讲述。

1.2.3 数字通信系统模型

数字通信系统模型如图 1-4 所示。与图 1-3 相比，发送端除了调制变换之外，增加了信源编码和信道编码，接收端除了解调之外，也相应地增加了信道译码和信源译码。

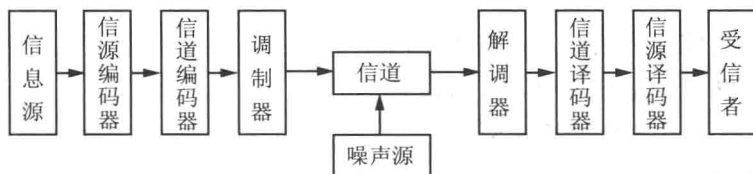


图 1-4 数字通信系统模型

信源编码的目的是为了提高系统的有效性。其作用主要有两个：一是设法减少码元 (M 进制系统中共有 M 种消息符号，每个消息符号又称为一个码元) 数目和降低码元速率，即通常所说的数据压缩。由于码元速率与信号有效传输带宽有正比关系，而信号的有效传输带宽又直接反映了系统的有效性。因此降低码元速率就是提

高系统的有效性,如图像压缩编码、语音压缩编码都属于信源编码。二是当信息源产生的是模拟信号时,将模拟信号转换成数字信号,即通常所说的模/数转换。同样的信息,用有限多个样值表示显然比用无限多个样值或连续形式表示有效性更高。在第4章中,将介绍模拟信号数字化的两种方法:脉冲编码调制(PCM)和增量调制(ΔM)。

信道编码的目的是为了提高系统的可靠性。数字信号在信道中传输时会由于噪声、衰落等的影响而产生差错。信道编码就是利用差错控制技术使系统具有检错、纠错能力,以提高系统的可靠性。

信源译码与信源编码、信道译码与信道编码是通信系统中的匹配对,其作用是相反的。

调制器、解调器的作用与在模拟通信系统中相同,差别在于这里的调制和解调是数字的。调制器和解调器在数字通信系统中不是必须的,没有调制器和解调器的数字通信系统称为数字基带传输系统。本书第5章将论述数字基带传输技术;与其相对应的,第6章将介绍数字频带传输技术。

除了以上变换匹配对以外,加密与解密也是数字通信系统中常用匹配对,在其模型中一般位于信源编/译码和信道编/译码之间。加密与解密的目的是为了保证系统的安全性。加密主要是指人为地将被传输的数字序列扰乱的过程;而解密是指采用与加密同样的算法将接收到的数字序列恢复其原有顺序的过程。

以上数字通信系统如果要有顺序、准确、可靠地工作,采用同步技术是不可缺少的前提条件。同步是使收、发两端的信号在时间上保持一致,同节拍、同步调。本书第9章将专门讲述同步问题。

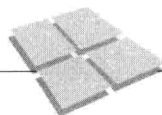
1.3 通信系统的分类与通信方式

1.3.1 通信系统的分类

通信系统中有很多分类方法,下面仅介绍其中最主要的几种。

1. 按通信的业务和用途分类

按通信的业务和用途可将通信系统分为常规通信和控制通信两大类,其中常规通信又包括话务通信和非话务通信两种。话务通信主要是指包括电话信息服务业务、语音信箱业务和电话智能网业务在内的电话业务。话务通信在通信史上一直处于主导地位,但近年来,非话务通信发展趋势强劲,如计算机通信、电子信箱、数据库检索、可视图文及会议电视、图像通信等。由于话务通信的固有地位,后期出现的通信系统往往以现有的公共电话网为依托。现在建成的综合业务数字网(ISDN)就是融合了多种通信业务形式的综合性通信系统。控制通信包括遥测、遥控、遥信



和遥调通信等，如雷达通信和遥测、遥控指令通信等。

2. 按调制与否分类

按系统中是否采用了调制、解调技术可将通信系统分为基带传输和频带传输（又称调制传输或载波传输）。基带传输是指信号在发送端无须经过调制而直接进行传输，在接收端无须经过解调就能接收的系统，如音频电话、对讲系统等。频带传输是指在发送端对基带信号进行调制，在接收端通过解调从接收到的信号中恢复出原始基带信号的系统。

3. 按信号特征分类

按照信道中所传输的是模拟信号还是数字信号，把通信系统相应地分成模拟通信系统和数字通信系统。无论是模拟通信还是数字通信，在不同的通信领域中都得到了广泛的应用。但与模拟通信相比，数字通信具有更多的优点，更能适应现代社会对通信技术越来越高的要求，其优点主要包括以下几个方面。

(1) 抗干扰能力强。由于数字信号的取值个数有限（大多数情况只有 0 和 1 两个值），在传输过程中不必关心信号的绝对值，只注意相对值即可。因此即使受到噪声干扰，只要不超过相对的界限，就不会产生误码。此外，数字信号在传输过程中，能够通过再生中继的方法，对数字信号波形进行整形再生而消除噪声积累；而模拟信号只能进行简单的中继放大，在有用信号被放大的同时，噪声也被放大了，如图 1-5 所示。

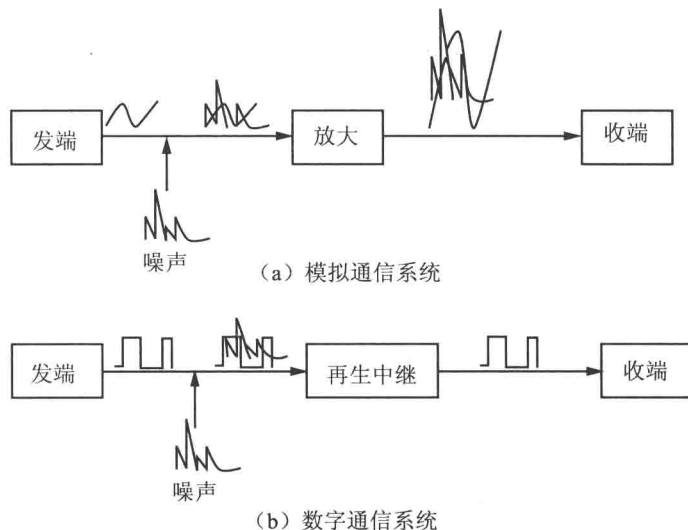


图 1-5 模拟通信与数字通信抗干扰能力对比

(2) 差错可控。可以采用信道编码技术降低系统误码率，提高传输可靠性。

(3) 便于进行加工和处理。易于与各种数字终端接口，易于用现代数字信号处

理技术对数字信号进行处理、加工、变换、存储。

(4)易集成。采用数字集成电路,具有体积小、重量轻、调试方便等特点。

(5)易加密,保密性强。例如,发端原始数据为10011010,用密码11101101对其加密(进行模2加运算),得到数据01110111,将此数据送到信道中传输。在收端只有知道密码的合法接收者才能进行正确解密(同样进行模2加运算),恢复出原始数据10011010。

(6)灵活性好,通用性强。数字通信系统能够传输话音、电视、数据等各种信息形式,因此更具通用性和灵活性。

但是数字通信的这些优点都是用比模拟通信占据更宽的系统频带为代价而换取的。以电话为例,一路模拟电话通常只占据4kHz带宽,但一路接近同样话音质量的数字电话可能要占据20~60kHz的带宽。此外,由于数字通信对同步要求高,因而系统设备比较复杂。不过随着光纤、数字微波等宽带信道的使用以及数字频带压缩技术的发展,数字通信的这些缺点已经弱化,数字通信的主导地位将越来越明显。

4. 按传输媒质分类

按传输媒质的性质不同,可将通信系统分为有线通信系统和无线通信系统两大类。有线通信是用缆线(如架空明线、同轴电缆、光缆等)作为传输媒质完成通信的,如有线电话、有线电视、海底电缆通信等。无线通信依靠电磁波在自由空间中传播以达到传递消息的目的,如短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继等。

5. 按工作波段分类

按系统中通信设备的工作频率(波长)不同可将通信系统分为长波通信、中波通信、短波通信、远红外线通信等。表1-1列出了通信中使用的波段(频段)及其常用传输媒质、主要用途等。其中,工作频率和波长的换算公式为:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{\lambda} \quad (1-1)$$

式中: f 为工作频率, Hz; λ 为工作波长, m; c 为光速, m/s。

表 1-1 通信波段与常用传输媒质

频率范围	对应波长	名称/符号	传输媒质	主要用途
3Hz~30kHz	$10^4 \sim 10^8$ m	甚低频 VLF	有线线对 长波无线电	音频、电话、数据终端长距离导航、时标
30kHz~300kHz	$10^3 \sim 10^4$ m	低频 LF	有线线对 长波无线电	导航、信标、电力线通信
300kHz~3MHz	$10^2 \sim 10^3$ m	中频 MF	同轴电缆 短波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电



续表

频率范围	对应波长	名称/符号	传输媒质	主要用途
3MHz~30MHz	$10\sim 10^2\text{ m}$	高频 HF	同轴电缆 短波无线电	移动无线电话、短波广播定点军用通信、业余无线电
30MHz~300MHz	$1\sim 10\text{ m}$	甚高频 VHF	同轴电缆 米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆、通信、导航
300MHz~3GHz	$10\sim 100\text{ cm}$	特高频 UHF	波导 分米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
3GHz~30GHz	$1\sim 10\text{ cm}$	超高频 SHF	波导 厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
30GHz~300GHz	$1\sim 10\text{ mm}$	极高频 EHF	波导 毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
1000GHz~ 10000GHz	$3\times 10^{-5}\sim$ $3\times 10^{-4}\text{ cm}$	可见光、红外 光、紫外光	光纤、激光 空间传播	光通信

6. 按信号复用方式分类

对多路信号采用复用方式传输能够更加有效地利用现有通信资源。按信号的复用方式可将通信系统分为频分复用(FDM)、时分复用(TDM)和码分复用(CDM)等。频分复用是用频谱搬移的方法使不同信号占据不同的频率范围；时分复用是用抽样或脉冲调制的方法使不同信号占据不同的时间区间；码分复用是用正交的码型来区分不同信号。如移动通信的发展经历了3个阶段：1G即为频分复用系统；2G为时分复用系统；3G则主要采用码分复用技术。

1.3.2 通信方式

通信系统中有很多通信方式，其划分依据主要包括以下两种。

1. 按消息传递的方向与时间关系划分

对于点与点之间的通信，按消息传递的方向与时间关系，通信方式可分为单工(Simplex)、半双工(Half-duplex)和全双工(Duplex)通信3种。

单工通信是指消息只能单方向传输的工作方式。因此通信双方发送、接收功能是固定的且只需占用一个信道，如图1-6(a)所示，如广播、电视、遥测、遥控等。

半双工通信是指通信双方都具有发送和接收功能，但不能同时接收，也不能同时发送的双向传输方式。因此半双工通信也只需占用一个信道，如图1-6(b)所示，如无线对讲机、普通无线收发报机等。

全双工通信是指通信双方可同时进行收发操作的双向传输方式。因此全双工通信必须占用双向信道，如图1-6(c)所示，如电话通信、计算机通信等。

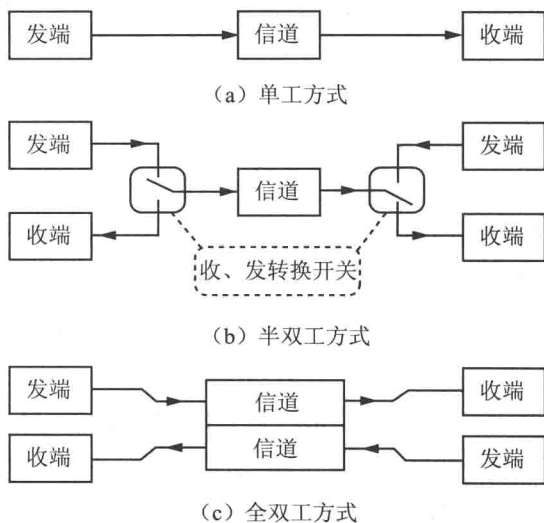


图 1-6 单工、半双工和全双工通信方式示意图

2. 按数字信号码元的排列方法划分

在数字通信中,按数字信号码元排列的顺序可分为并行传输和串行传输。并行传输是指将代表信息的数字序列以成组的方式在两条或两条以上的并行信道上同时进行传输,如图 1-7(a)所示;串行传输是指数字序列以串行方式一个接一个地在一条信道上的传输,如图 1-7(b)所示。

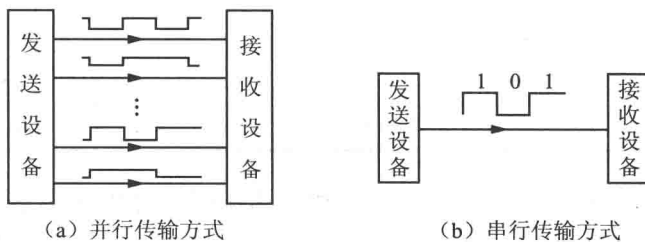
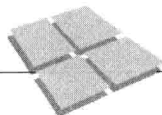


图 1-7 并行和串行通信方式示意图

并行传输速度快,但线路多、成本高,一般适用于近距离通信;串行传输虽然速度低,但线路成本也低,非常适合于远距离通信。

1.4 信息及其度量

如前所述,通信的目的是有效而可靠地传输信息。为了衡量传输的有效性,有必要引入一个量纲,以计算传输信息的多少,这就是信息量。信息量是度量信息内容多少的量纲。信息量如何定义呢?由于信息是不确定的、未知的消息,那么信息



的不确定性越强、越不可预测，其包含的内容就越丰富、信息量就越大。例如有以下 3 个消息。

- (1)我国将继续实行高考制度。
- (2)我国在近 5 年内可能取消高考制度。
- (3)我国自明年起将取消高考制度。

第一条消息为众所周知的事情，所以几乎不含信息量；对于第二条消息，听到的人，尤其是高中生和家长精神会为之一振，因此它包含了很大的信息量；第三条消息会带来更大的震撼，因为它几乎不可能发生，人们听了会感到十分惊奇，因此它包含了更多的信息量。

由概率论的知识可知，事件的不确定性可用事件出现的概率来描述。可能性越小，概率越小；反之，概率越大。因此，信息量的大小与信息中所涉及事件发生的概率密切相关。假设 x 代表某信息中所涉及的事件， $P(x)$ 是这个事件发生的概率， I 表示从这个信息中获悉的信息量，将信息量的公式定义如下：

$$I(x) = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \tag{1-2}$$

其中，对数的底数 a 一般有 3 种取值：2、10 或 e 。取值不同，信息量 I 的单位不同。区别详见表 1-2。单位比特(bit)最为常用。

表 1-2 信息量 I 的单位

a 的取值	I 的单位	I 的单位表示符号
2	比特	bit(b)
10	奈特	nat
e	哈特莱	Hartley

考虑两种极限的情况：当事件出现的概率为 1 时，即事件必然发生，则信息量为 0；当事件出现的概率为 0 时，即事件根本不可能发生，则信息量为无穷大。可见，这个公式能够准确地表达出信息量的含义。

例如：在二进制通信系统中，有两种符号 0 和 1。在等概率的情况下，有：

$$I(0) = -\log_2 P(0) = -\log_2 \frac{1}{2} = -\log_2 P(1) = I(1) = 1(\text{bit}) \tag{1-3}$$

即在等概二进制系统中，每个二进制符号都携带 1bit 的信息量。

一般地，在 M 进制通信系统中， M 个符号等概出现，则每个符号所携带的信息量均为：

$$I = -\log_2 \frac{1}{M} = \log_2 M(\text{bit}) \tag{1-4}$$

当 M 为 2 的 k 次方，即 M 为 2 的整数次幂时，有以下的式子：